



# Detectie van vogelgriep met de inzet van drones en machine learning in de Waddenzee, resultaten van een pilot studie



Sjoerd Duijns  
Petra Manche  
Jos van Kessel  
Eelke Folmer

Sovon-rapport 2025/36





# Detectie van vogelgriep met de inzet van drones en machine learning in de Waddenzee, resultaten van een pilot studie

Sjoerd Duijns - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Petra Manche - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Jos van Kessel - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Eelke Folmer - Lumax



Sovon-rapport 2025/36

Dit rapport is samengesteld in opdracht van LVVN en deels gefinancierd door NextGenerationEU



Ministerie van Landbouw, Visserij,  
Voedselzekerheid en Natuur



Gefinancierd door  
de Europese Unie  
NextGenerationEU

## Colofon

© Sovon Vogelonderzoek Nederland 2025

Dit rapport is samengesteld in opdracht van Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur

*Wijze van citeren:* Duijns, S., Manche P., van Kessel J. & Folmer E.O. 2025. Detectie van vogelgriep met de inzet van drones en machine learning in de Waddenzee, resultaten van een pilot studie. Sovon-rapport 2025/36. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

*ISSN-nummer:* 2212 5027

Sovon Vogelonderzoek Nederland

Toernooiveld 1

6525 ED Nijmegen

*e-mail:* [info@sovon.nl](mailto:info@sovon.nl)

*website:* [www.sovon.nl](http://www.sovon.nl)

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Sovon en/of opdrachtgever.

# Inhoud

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Samenvatting                                                                              | 6  |
| Dankwoord                                                                                 | 7  |
| 1. Inleiding                                                                              | 8  |
| 2. Gebiedsbeschrijving                                                                    | 9  |
| 2.1 Kornwerderzand                                                                        | 9  |
| 2.2 Hegewiersterfjild                                                                     | 10 |
| 2.3 Klutenplas                                                                            | 11 |
| 2.4 Eiland Stern                                                                          | 11 |
| 3. Soortbeschrijving                                                                      | 13 |
| 3.1 Broedhabitat                                                                          | 13 |
| 3.2 Broed- en telperiode                                                                  | 13 |
| 3.3 Verstoringsgevoeligheid                                                               | 14 |
| 4. Technische achtergrond                                                                 | 15 |
| 4.1 Dataverzameling                                                                       | 16 |
| 4.1.1 Aanvullende data Tijnje                                                             | 16 |
| 4.1.2 Aanvullende data Terschelling                                                       | 16 |
| 4.2 Model training                                                                        | 16 |
| 5. Resultaten                                                                             | 19 |
| 5.1 Performance modellen                                                                  | 19 |
| 5.2 Soort- en gedragsherkenning                                                           | 20 |
| 5.3 Webapplicatie                                                                         | 22 |
| 6. Discussie en vooruitblik                                                               | 23 |
| 6.1 Doorontwikkeling van het model                                                        | 23 |
| 6.2 Gebruikers                                                                            | 23 |
| 6.3 Conclusie en vooruitblik                                                              | 24 |
| Literatuur                                                                                | 26 |
| Bijlagen                                                                                  | 27 |
| Bijlage 1. Betekenis van de gebruikte afkortingen voor labels binnen Label Studio         | 27 |
| Bijlage 2. Overzicht van het aantal labels in de trainingsdata per soort en gedrag/status | 28 |

## Samenvatting

Hoogpathogene aviaire influenza (HPAI) virussen zijn nu jaarrond aanwezig onder wilde vogels in Nederland, waardoor ook broedvogelkolonies risico lopen op uitbraken. Een vroege signalering van de vogelgriep in kolonies is essentieel voor eventuele ingrepen, zoals het ruimen van dode vogels of het afsluiten van gebieden. Tegelijkertijd is het wenselijk dat deze gebieden zo min mogelijk betreden worden vanwege de verstoringsgevoeligheid en mogelijke verdere verspreiding. Om mogelijke signalen van vogelgriep te kunnen signaleren is de inzet van drones een potentieel middel. Om een snelle en efficiënte detectie van (dode) vogels op dronebeelden mogelijk te maken, is er binnen dit pilotproject een *Machine Learning (ML)* model getraind en de pilotversie is online beschikbaar gemaakt via een webapplicatie ([www.birdflualert.ai](http://www.birdflualert.ai)).

Verspreid over het broedseizoen van 2024 zijn er in een viertal gebieden zeven keer dronevluchten uitgevoerd. In de gekozen gebieden (Kornwerderzand, Hegewiersterfild, Klutenplas en Eiland Stern) broeden grote aantallen Kokmeeuwen en Vissiepen. Omdat er in 2024 geen vogelgriep aanwezig was in deze kolonies, is voor de training van het model ook gebruik gemaakt van beelden die in 2023 in Tijnje (Friesland) gemaakt waren. Van een selectie van de verzamelde beelden alle levende en dode vogels gelabeld op soort en status (dood/levend, broedend, zittend, vliegend, zwemmend). In totaal werden er 24.696 beelden gelabeld die als trainingsdata zijn gebruikt. Voor de detectie van vogels is gebruik gemaakt van het YOLO11 model (*You Only Look Once*, versie 11).

Het model werd getraind over 500 training cycli (epochs) en het grootste deel van het leren vond plaats in de eerste 100 training cycli, waarna het leerniveau gelijk bleef. De mAP50- en mAP95-waarden liggen rond de 0,6 en 0,4 respectievelijk, en de *Precision*- en *Recall*-waarden liggen rond de 0,7 en 0,5. Het is hierbij belangrijk op te merken dat de training werd uitgevoerd op een dataset met een aanzienlijke onbalans in de hoeveelheid trainingsdata per klasse, waardoor het model klassen met hoge vertegenwoordiging goed leerde te herkennen en zeldzamere klassen minder goed. Het overgrote deel van de trainingsdata bestond uit broedende of zittende Kokmeeuwen.

Er is een cloud infrastructuur opgezet en een webapplicatie ontwikkeld om data processing en het ML model beschikbaar te maken voor diverse eindgebruikers, bijvoorbeeld terreinbeheerders. Wanneer een drone-piloot beelden uploadt, worden ze opgeslagen in een S3 buckets bij Amazon Web Service (AWS). Deze worden vervolgens met behulp van open-source fotogrammetrie software gecombineerd tot een orthomosaic die ook wordt opgeslagen in de S3 cloud. Deze orthomosaic wordt vervolgens in delen (tiles) door het ML model verwerkt waarbij detecties (bounding boxes) worden geproduceerd die in de Birdflualert web-applicatie worden weergegeven. Tijdens een online workshop is deze webapplicatie gedemonstreerd aan potentiële gebruikers en andere geïnteresseerden en dit werd positief ontvangen.

Tijdens dit pilot project is de technische haalbaarheid van een dergelijke webapplicatie en bijbehorend ML model bewezen. Wel is gebleken dat de ongelijke verdeling van trainingsdata over de verschillende klassen ervoor zorgt dat niet alle klassen even goed herkend worden. Het toevoegen van extra trainingsdata van de nu nog ondervertegenwoordigde klassen kan het model verder verbeteren. Hetzelfde geldt voor het toevoegen van nieuwe soorten (bijvoorbeeld grote meeuwen). Ook een verdere ontwikkeling van de gebruikte infrastructuur (front end en back end) is gewenst om het systeem te kunnen opschalen in het geval van nieuwe uitbraken.

## Dankwoord

Dit pilot project is mede tot stand gekomen met behulp van het Ministerie van LNVN (Karst Jaarsma, Marco Blankestijn) en de Beheerautoriteit Waddenzee. De Beheerautoriteit heeft een cruciale rol gespeeld om draagvlak te krijgen bij de terreinbeheerders. We danken Maarten Nijenhuis daarom voor zijn rol hierin. Ook Gerrit Dommerholt van Vogelbescherming Nederland heeft naar financiële mogelijkheden gezocht om dit project van de grond te krijgen en we danken hem hiervoor.

We danken alle terreinbeheerders voor toegang en toestemming voor het uitvoeren van deze pilot; Silvan Puijman (Groninger Landschap), Simon de Winter en Jeroen Kuiper (beide Natuurmonumenten) waren zeer behulpzaam om hun medewerking te verlenen. Ook danken we de veldmedewerkers die meegewerkt hebben, waaronder Peter de Boer, Bram Ubbels, Romke Kleefstra, Kees Oosterbeek en Olov Folmer. Mervyn Roos (Rijkswaterstaat, CIV) stelde gegevens van de vliegtuigtelling van de kolonies op het Kornwerderzand beschikbaar. Dirk Zoetebier ondersteunde het technisch beheer. Daarnaast bedanken we alle deelnemers aan de workshop voor hun interesse en vragen. Julia Stahl en Kees Koffijberg worden bedankt voor het meedenken. Thor Veen en Kees Koffijberg worden bedankt voor de kritische blikken op eerdere versies van dit rapport. De dronevluchten vonden plaats met een ontheffing op de Omgevingswet (Nr. 02031085), afgegeven door de Provincie Fryslân (namens de waddenprovincies) aan Sovon Vogelonderzoek Nederland.

## 1. Inleiding

Hoogpathogene aviaire influenza (HPAI) virus-  
sen zijn nu jaarrond aanwezig onder wilde vogels in  
Nederland. In broedvogelkolonies heeft vogelgriep in  
2022 en 2023 voor massale sterfte gezorgd bij onder  
andere Grote Sterns (Knief *et al.* 2024), Visdieven en  
Kokmeeuwen (EFSA *et al.* 2023). Met name vogelsoor-  
ten die op of rond het water leven en in grote groepen  
samenkomen zijn kwetsbaar voor vogelgriep. Maar ook  
soorten die zieke of dode vogels eten, zoals Buizerd,  
Slechtvalk en kraaiachtigen, worden door het virus  
getroffen. Daarnaast wordt het virus de laatste jaren  
steeds vaker bij zoogdieren, zoals Vossen aangetroffen.

Tijdens het broedseizoen in 2024 was er nauwelijks  
sprake van vogelgriep, maar in de winter van 2024/25  
zijn er weer diverse uitbraken onder wilde vogels en  
bij pluimveebedrijven gesignaleerd en werd onder  
Brandganzen opnieuw verhoogde sterfte geconsta-  
teerd. Het blijft dus van belang om alert te zijn. Een  
vroeg signalering van de aanwezigheid van vogelgriep  
en verhoogde sterfte in broedvogelkolonies is essenti-  
eel als informatiebasis voor eventuele ingrepen (zoals  
het ruimen van dode vogels of aanleggen van enclo-  
sures in broedkolonies). Hierdoor kunnen verdere  
verspreiding onder kolonievogels en de risico's voor  
de mens worden beperkt. Dit is met name relevant voor  
gebieden waar kadavers een grote aantrekkingskracht  
hebben op aaseters en predatoren en op plaatsen waar  
vogels in hoge dichtheden broeden, rusten of foerage-  
ren (Rijksoverheid 2024).

Dergelijke gebieden zijn echter ook gevoelig voor ver-  
storing en bovendien kan verstoring van vogels bidra-  
gen aan het verder verspreiden van het virus. Daarom  
is het wenselijk dat zulke gebieden zo min mogelijk  
betreden worden. Om toch signalen van vogelgriep  
te kunnen signaleren is de inzet van drones een po-  
tentieel middel. Hierbij kan in korte tijd een volledig  
beeld verkregen worden van een gebied, met beperkte  
verstoring. In veel gevallen gaat het om grote gebieden  
met duizenden vogels. Om hierbij de stap te maken  
van foto-beelden tot daadwerkelijke informatie over  
de aantallen aanwezige vogels, en mogelijke sterfte,  
dienen de beelden geanalyseerd te worden. Dit kan  
handmatig gedaan worden maar dat is arbeidsintensief  
en tijdrovend. Desondanks was dit in de beginjaren  
van het drone onderzoek wel de gebruikelijke methode  
(bijvoorbeeld Chabot *et al.* 2015) en ook in recente  
jaren wordt dit nog steeds vaak handmatig gedaan  
(bijvoorbeeld Lalach *et al.* 2023), ondanks de snelle  
ontwikkelingen van Machine Learning op het gebied  
van beeldherkenning. De reden hiervoor is vaak dat  
het om losse projecten gaat, waarbij het trainen van  
een model wat betreft tijdsinvestering niet opweegt  
tegen de tijd die in het handmatig labelen gaat zitten.  
Daarnaast kan het zijn dat er bij kleine projecten ook  
niet voldoende data beschikbaar is om een model goed  
te kunnen trainen.

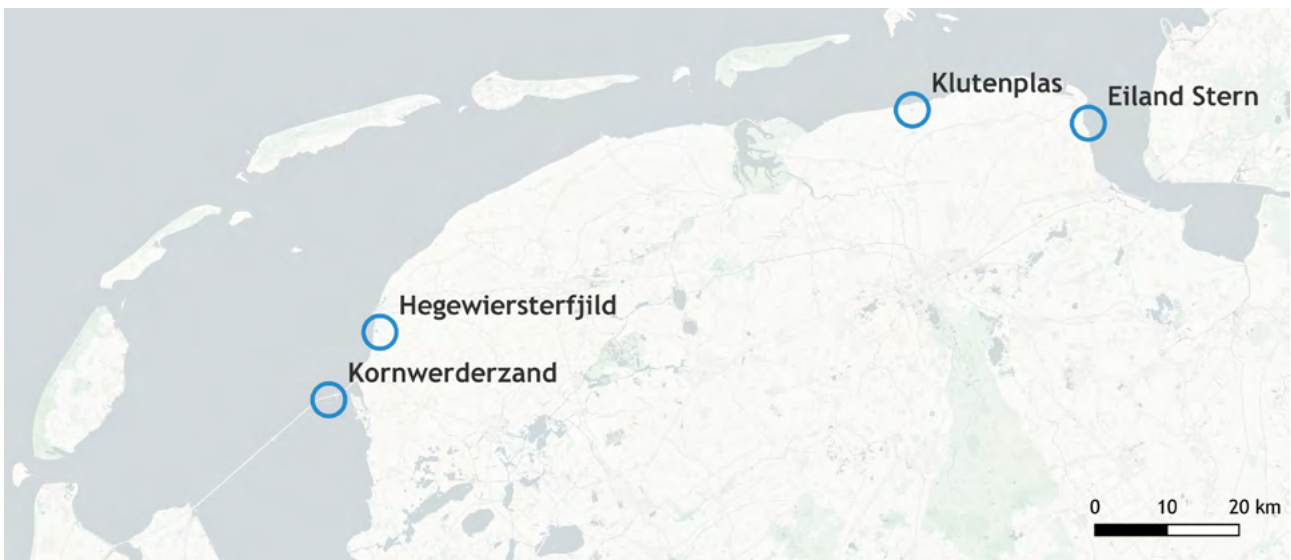
Omdat vogelgriep waarschijnlijk een terugkerend pro-  
bleem zal zijn, is er binnen de context van dit pilot  
project gebruik gemaakt van Machine Learning (ML)  
om snelle en efficiënte detectie van (dode) vogels mo-  
gelijk te maken in kolonies met meeuwen en/of sterns.  
Naast het trainen van een detectie model, is er ook een  
online portal ontwikkeld om dronebeelden en de ML  
technologie beschikbaar te maken voor terreinbeheer-  
ders en andere potentiële gebruikers.

## 2. Gebiedsbeschrijving

Voor dit pilotproject zijn er in 2024 gedurende het broedseizoen op vier locaties in het Waddengebied dronevluchten uitgevoerd: Kornwerderzand, Hegewiersterfjild, Klutenplas en Eiland Stern (figuur 2.1). Deze gebieden zijn gekozen vanwege de grote aantallen Kokmeeuwen en Visdieven die hier broeden en eerdere grote uitbraken die er plaatsvonden. In dit hoofdstuk wordt per gebied een korte beschrijving gegeven van het type habitat, de broedaantallen in 2024 en, voor zover bekend, of er vogelgriepuitbraken hebben plaatsgevonden.

### 2.1 Kornwerderzand

De locatie Kornwerderzand bestaat uit het broedgebied dat aan de IJsselmeerzijde van de vismigratierivier is aangelegd (figuur 2.2). De werkzaamheden in dit gebied waren tijdens het broedseizoen van 2024 nog niet afgerond. Deze kolonie is in 2024 op drie datums vanuit een vliegtuig geteld, waarmee deze methode van aantalsbepaling afwijkt van de andere drie gebieden, waar een reguliere BMP en kolonietelling werd



Figuur 2.1. Ligging van de vier locaties waar in 2024 dronevluchten zijn uitgevoerd.



Figuur 2.2. De Vismigratierivier bij Kornwerderzand, met op de voorgrond een broedeiland voor vogels.

uitgevoerd. Tijdens een vliegtuigtelling is het bijvoorbeeld moeilijker dan bij een grondtelling om Visdief van Noordse Stern te onderscheiden, of Kokmeeuw van Zwartkopmeeuw.

Tijdens de vliegtuigtelling zijn als kolonievogels dan ook alleen Visdief en Kokmeeuw waargenomen. De aanwezigheid van Zwartkopmeeuw, die in 2023 met 70 paar aanwezig was, kan niet volledig worden uitgesloten maar was in ieder geval niet met grote aantallen aanwezig. Visdief was het meest talrijk, waarbij het opviel dat er grote verschillen waren tussen de verschillende telmomenten. Bij de eerste telling op 18 juni werden er slechts 120 paar geteld. Een maand later, relatief laat in het seizoen op 15 juli was dit vertienvoudigd tot 1205 paar. De lage aantallen in het begin van het seizoen werden mogelijk veroorzaakt door de onrust die de werkzaamheden met zich meebrengen. Bovendien kan worden opgemerkt dat de vliegtuigtellingen aanzienlijk lager zijn dan de tellingen op basis van de drone beelden (hoofdstuk 6).

*Tabel 2.1. Het aantal broedpaar Kokmeeuw en Visdief dat op verschillende dagen vanuit een vliegtuig is geteld bij Kornwerderzand (gegevens Rijkswaterstaat).*

| Soort    | 17 apr | 14 mei | 18 jun | 15 jul | 13 aug |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Kokmeeuw | 480    | 800    | 900    | -      | -      |
| Visdief  | -      | -      | 120    | 1.205  | 180    |

## 2.2 Hegewiersterfjild

Natuurgebied Hegewiersterfjild ligt aan de zuidkant van Harlingen (figuur 2.3), binnendijks tegen de Waddenzeedijk. Het gebied bestaat uit open plasdraslandschap met reliëfrijke graslanden, zoute kwel en open water met broedeilanden. In 2015 werd aan de zuidzijde een groot stuk bouwland aangekocht en bij het bestaande natuurgebied getrokken. Het bestaat uit broedeilanden waar grote aantallen Kokmeeuwen broeden, maar ook uit grote stukken grasland met diverse soorten weidevogels zoals Grutto en Kievit. Het gebied wordt jaarlijks op broedvogels geteld door Natuurmonumenten.

Zowel in 2022 als 2023 werd er vogelgriep vastgesteld in dit gebied. Dode vogels werden hier wekelijks geruimd, waarbij het in 2023 om meer dan 5.000 dode Kokmeeuwen ging waarvan circa 65% adult was. Daarnaast werden ook soorten als Visdief als vogelgriep-slachtoffer getroffen. In 2024 was er geen verhoogde sterfte in dit gebied.

*Tabel 2.2. Aantal broedparen per soort in Hegewiersterfjild in 2024. Zangvogels en soorten met minder dan 5 broedpaar zijn niet weergegeven.*

| Soort       | Aantal | Soort          | Aantal |
|-------------|--------|----------------|--------|
| Kokmeeuw    | 4.180  | Krakeend       | 31     |
| Visdief     | 180    | Kuifeend       | 31     |
| Kluut       | 155    | Meerkoet       | 30     |
| Grauwe Gans | 155    | Wilde Eend     | 28     |
| Kievit      | 84     | Bergeend       | 17     |
| Grutto      | 80     | Slobeend       | 16     |
| Tureluur    | 59     | Nijlgans       | 5      |
| Scholekster | 53     | Kleine Plevier | 5      |



*Figuur 2.3. Hegewiersterfjild met op de achtergrond Harlingen. Dit gebied bestaat uit grasland en broedeilanden. Aan de linkerkant van de foto is een vogelkijkhut zichtbaar.*

## 2.3 Klutenplas

De Klutenplas is een binnendijks brakwatergebied, gelegen tegen de zeedijk van de Groninger noordkust (figuur 2.4). Dit gebied is in 1986 ontstaan doordat er klei gewonnen werd voor het ophogen van de zeedijk. In 2005 is het gebied uitgebreid en sindsdien beslaat het een oppervlakte van 17 ha. In 2014 heeft er een grote herinrichting plaatsgevonden waarbij er onder andere een stroomraster rondom het gebied is neergezet en er een pompemaal geplaatst is voor de waterhuishouding. Daarnaast zijn er schelpeneilandjes aangelegd als broedhabitat voor Kluten, meeuwen en sterns (de Boer 2025a). Kokmeeuw was in 2024 de meest talrijke soort in dit gebied, met een totaal van 631 broedpaar (tabel 2.3).

In 2023 werden er in dit gebied op 19 april de eerste dode vogels aangetroffen, waarna er al snel met zekerheid vogelgriep werd vastgesteld. Er werden vervolgens regelmatig dode vogels geruimd, maar desondanks liep de sterfte onder Kokmeeuwen op tot in totaal 145 adulten, 37 sub-adulten (2de kalenderjaar) en 439 (grote) kuikens. Daarnaast werden er 20 adulte Visdieven dood gevonden, 71 jongen en zes Scholeksters waaronder twee adulten.

*Tabel 2.3. Aantal broedparen per soort in de Klutenplas in 2024. Zangvogels en soorten met minder dan 5 broedpaar zijn niet weergegeven.*

| Soort          | Aantal |
|----------------|--------|
| Kokmeeuw       | 631    |
| Kluut          | 98     |
| Visdief        | 44     |
| Scholekster    | 11     |
| Grauwe Gans    | 8      |
| Kuifeend       | 7      |
| Wilde Eend     | 5      |
| Meerkoet       | 5      |
| Kleine Plevier | 5      |

## 2.4 Eiland Stern

Eiland Stern is een broedeiland van circa 2 hectare dat in de winter van 2017/2018 aangelegd is in de Eems, iets ten zuiden van de Eemshaven (figuur 2.5). De kortste afstand tot de dijk is 500 meter en bij laagwater komt het wad tussen de dijk en het eiland droog te liggen. Langs de oostkant van het eiland loopt een geul die nooit droog komt te staan. Het eiland is een compensatiemaatregel voor verlies van broedgebied in de Eemshaven en ter vermindering van het aantal aanvaringsslachtoffers door windturbines en hoogspanningslijnen in en rond de Eemshaven (Brenninkmeijer *et al.* 2019).

Sinds 2018 wordt hier jaarlijks een broedvogelinventarisatie uitgevoerd door Sovon Vogelonderzoek Nederland, zo ook in 2024 (de Boer 2025b). De meest talrijke broedvogel is Kokmeeuw, met 2023 broedparen in 2024, gevolgd door Visdief en Noordse Stern (tabel 2.4).

In juni 2023 werd er vogelgriep vastgesteld op eiland Stern. Vanaf dat moment zijn de dode vogels 2-3 keer per week weggehaald en geregistreerd. In totaal zijn er in dat jaar 324 adulte vogels dood gevonden, waaronder 107 Kokmeeuwen en 209 Visdieven. Daarnaast werden er 5.075 jonge Kokmeeuwen en 2.467 jonge Visdieven geruimd, aangevuld met enkele Scholeksters,

*Tabel 2.4. Aantal broedparen per soort op eiland Stern in 2024. Zangvogels en soorten met minder dan 5 broedpaar zijn niet weergegeven.*

| Soort         | Aantal |
|---------------|--------|
| Kokmeeuw      | 2.023  |
| Visdief       | 915    |
| Noordse Stern | 127    |
| Kluut         | 11     |
| Wilde Eend    | 7      |
| Scholekster   | 7      |



*Figuur 2.4. De Klutenplas met op de achtergrond de kwelders en de Waddenzee.*

Zwartkopmeeuwen en Noordse Sterns. In 2024 was er geen sprake van opvallende sterfte of vogelgriepverschijnselen. Tijdens het seizoen zijn zowel jongen als adulten van Kokmeeuw, Visdief en Noordse Stern steekproefsgewijs bemonsterd op vogelgriep maar deze monsters waren allemaal negatief.



*Figuur 2.5. Het buitendijkse broedeiland Stern tijdens hoogwater.*

### 3. Soortbeschrijving

#### 3.1 Broedhabitat

Zoals in hoofdstuk 2 is weergegeven, zijn Kokmeeuw, Visdief en Kluut de meest talrijke broedvogels in de vier onderzoeksgebieden. Ook Waddenzeebreed komen deze soorten in relatief grote aantallen en wijdverspreid voor. Ze maken allemaal gebruik van kwelders of van broedeilanden met zand en schelpen als ondergrond. Hierbij verkiest de Kluut plekken met geen of weinig vegetatie. In de Klutenplas is deze soort bijvoorbeeld met name te vinden op kale schelpeneilandjes (figuur 3.1) in de nabijheid van ondiep water. Kokmeeuw zoekt juist vaak de vegetatie op. In de loop van het seizoen kunnen de nesten van Kokmeeuwen dan grotendeels in de vegetatie "verdwijnen", waardoor ze van bovenaf beperkt zichtbaar zijn (figuur 3.2).



Figuur 3.1. Broedende Kluut in de Klutenplas



Figuur 3.2. Broedende Kokmeeuwen in de vegetatie

Visdieven zitten meestal tussen Kluut en Kokmeeuw in wat betreft de hoeveelheid vegetatie rondom de nesten, maar heeft veel variatie in broedlocaties en kan ook op vegetatieloze daken of broedpontons aangetroffen worden. Deze soort vertoont qua uiterlijk grote gelijkenis met Noordse Stern. In gemengde kolonies zoals eiland Stern verkiest de Noordse Stern kalere ondergrond dan de Visdief. Dit kan een hulpmiddel zijn bij het onderscheiden van de soorten op dronebeelden.

#### 3.2 Broed- en telperiode

De broedperiode, en daarmee ook de telperiode zoals aangegeven in Vergeer *et al.* (2023), verschilt tussen soorten (tabel 3.1). Voor de kolonievogels Kokmeeuw en Zwartkopmeeuw is de voorkeursperiode om kolonies

Tabel 3.1. Datumgrenzen voor het tellen van broedvogels. Met blauw worden de aanbevolen telperiodes voor kolonievogels weergegeven, waarbij donkerblauw de voorkeursperiode aangeeft. Daaronder in grijs de datumgrenzen voor overige broedvogels zoals die binnen het BMP gehanteerd worden. (Bron: Vergeer *et al.* 2023).

|               | 1-apr | 6-apr | 11-apr | 16-apr | 21-apr | 26-apr | 1-mei | 6-mei | 11-mei | 16-mei | 21-mei | 26-mei | 1-jun | 6-jun | 11-jun | 16-jun | 21-jun | 26-jun | 1-jul | 11-jul |
|---------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Kokmeeuw      |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Zwartkopmeeuw |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Visdief       |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Noordse Stern |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Brandgans     |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Grauwe gans   |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Nijlgans      |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Bergeend      |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Krakeend      |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Wilde eend    |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Scholekster   |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Kluut         |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Kievit        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |
| Grutto        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |

te tellen een stuk langer dan voor Visdief en Noordse Stern. Maar tussen 26 mei en 10 juni is voor al deze soorten een geschikte periode. Kluut valt volgens deze telrichtlijnen niet onder de kolonievogels. Maar binnen de broedvogelmonitoring wordt een datumgrens van 6 mei tot 5 juni aangehouden, waarmee deze soort ook deels binnen de hiervoor genoemde voorkeursperiode valt. Andere soorten die, soms ook met tientallen broedparen, aanwezig zijn in de onderzoeksgebieden broeden veel eerder. Voorbeelden hiervan zijn Grauwe Gans, Wilde Eend, Kievit en Grutto (tabel 3.1).

### 3.3 Verstoringsgevoeligheid

De inzet van drones voor de monitoring van (kust- en zee)vogels is de afgelopen jaren flink toegenomen (Brisson-Curadeau *et al.* 2025), met name om de aantallen en verspreiding te bepalen (Edney *et al.* 2023). Daarmee wordt er ook steeds meer bekend over de mate van verstoring die drones bij vogels veroorzaken en factoren die daar invloed op hebben. De vlieghoogte van de drone is daarbij van grote invloed. Hierbij zijn er wel verschillen tussen soorten, waarbij grotere soorten over het algemeen minder gevoelig zijn. Over het algemeen lijkt er bij vlieghoogtes van meer dan 50 meter nauwelijks verstoring op te treden. Hoge verstoring wordt vooral bij vlieghoogtes van minder dan 20 meter waargenomen (Edney *et al.* 2023). Brisson-Curadeau en collega's (2025) zijn iets voorzichtiger in het adviseren van vlieghoogtes en adviseren, ook op basis van een meta-analyse, om voor grote vogels (>1,2 kg) minstens 30 m aan te houden, voor kleine vogels (<400 g) minstens 70 m en voor de tussencategorie minimaal 50 m. Soorten als Kluut, Visdief en Kokmeeuw vallen qua gewicht allemaal in de tussencategorie. Hierbij wordt uitgegaan van broedvogels. Niet-broedvogels, bijvoorbeeld op hvp's, zijn gevoeliger voor verstoring door drones. Daarnaast zijn er bepaalde soorten waar extra rekening mee gehouden moet worden, zoals Scholeksters die soms agressief op drones reageren (bijvoorbeeld Valle & Scarton 2024).

Indien de vlieghoogte tijdens de vlucht aangepast moet worden, lijkt dit het beste buiten de kolonie gedaan te kunnen worden. Verticale bewegingen lijken namelijk een sterkere reactie uit te lokken dan horizontale (Vas *et al.* 2015, Mustafa *et al.* 2017, Rümmler *et al.* 2018, Rush *et al.* 2018).

## 4. Technische achtergrond

De birdflualert app is ontworpen voor verschillende eindgebruikers, zoals terreinbeheerders die vooral geïnteresseerd zijn in beoordeling van de drone beelden en de *Machine Learning* (ML) resultaten en dronepiloten die snel en efficiënt dronebeelden verwerkt en geanalyseerd willen hebben.

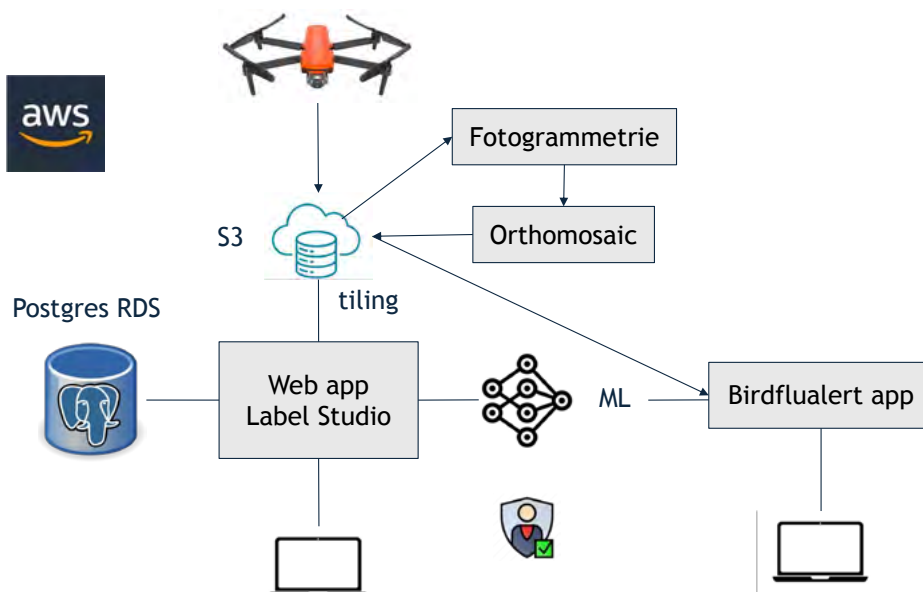
De cloudinfrastructuur die nodig is om deze functionaliteit te bieden is in figuur 4.1 schematisch weergegeven. Dit schema begint bij het uploaden van de dronebeelden naar S3 buckets bij Amazon Web Service (AWS). Deze beelden worden verwerkt met behulp van open-source fotogrammetrie software waarbij een orthomosaic geproduceerd wordt. Een orthomosaic is een grote luchtfoto samengesteld uit vele kleinere foto's, waarbij alle vervormingen door perspectief zijn verwijderd. Hierdoor lijkt het alsof je overal recht naar beneden kijkt (vandaar “ortho”, afgeleid van orthogonaal). Dit maakt het mogelijk om nauwkeurige metingen te doen van afstanden en oppervlaktes. Deze orthomosaic wordt ook opgeslagen in S3 buckets. Deze orthomosaic wordt vervolgens in delen (tiles) door het ML model verwerkt waarbij detecties (bounding box, zie figuur 4.2) worden geproduceerd die in de Birdflualert webapplicatie worden weergegeven.

Voor het trainen en verbeteren van het model is er ook een koppeling tussen de S3 opslag en de webapplicatie Label Studio. Hierbij wordt de orthomosaic opgeknip

in kleinere bestanden (*tiling*) waarop labels kunnen worden toegevoegd en/of de labels die het model reeds gegenereerd heeft worden aangepast. Deze gecontroleerde labels worden opgeslagen in een Postgres database en kunnen vervolgens gebruikt worden om het ML model te verbeteren.

De Birdflualert webapplicatie is ontworpen om veilig en gecontroleerd toegang tot project gerelateerde gegevens te geven. Om gebruik te maken van de applicatie dienen gebruikers dan ook in te loggen, waarna ze toegang krijgen tot alleen de projecten waaraan ze gekoppeld zijn. Hierbij zijn er verschillende rollen mogelijk, die bepalen op welke manier zij toegang hebben tot de gegevens (lezen/schrijven) en welke functionaliteiten binnen de applicatie beschikbaar zijn. Het principe van '*least privilege*' wordt toegepast, wat betekent dat gebruikers alleen toegang hebben tot de informatie, bronnen en functionaliteiten die noodzakelijk zijn voor hun rol.

De applicatie zelf maakt gebruik van tijdelijke AWS credentials die worden gegenereerd door AWS STS voor beveiliging tijdens bestandsbewerkingen. Het systeem maakt gebruik van AWS S3 voor bestandsopslag en implementeert IAM-rollen om de toegang te reguleren tot bijbehorende S3-buckets op basis van de rol van de gebruiker.



Figuur 4.1. Schematische weergave van de verschillende onderdelen en stappen van het vliegen met de drone tot de weergave van de resultaten in de birdflualert app.

## 4.1 Dataverzameling

De drone-vluchten voor deze pilot vonden in 2024 plaats tussen 30 april en 25 juni. Verspreid over deze periode is er per kolonie op zes of zeven dagen gevlogen (tabel 4.1), waarbij er telkens twee vluchten per locatie gemaakt zijn. Door twee keer achter elkaar te vliegen is er de mogelijkheid om de beelden later over elkaar heen te leggen en zo broedende vogels van niet-broeders te onderscheiden. Broedende vogels hebben een drang om te blijven zitten en zullen meestal tijdens beide vluchten op dezelfde plek zitten.

De vluchten werden grotendeels uitgevoerd onder gunstige weersomstandigheden met overwegend helder tot licht bewolkt weer, windkracht niet hoger dan 4 Beaufort en zonder neerslag. Tijdens alle vluchten is nauwlettend gemonitord op mogelijke verstoring van de kolonies. Vanaf de grond werd door een getrainde observant het gedrag van de vogels voor en tijdens elke vlucht geregistreerd.

De drone-vluchten zijn uitgevoerd met een quadcopter van het merk en type Autel EVO 2 RTK. Dit type drone is relatief klein, licht en stil en uit eerdere ervaring bleek dat, wanneer er op een hoogte van 20 meter wordt gevlogen, broedende Kokmeeuwen geen tot minimale tekenen van verstoring vertonen. Bij dit pilot-project was de vlieghoogte tussen 30 en 35 meter boven de grond en de vliegsnelheid lag tussen 5-8 m/s. Tijdens de vluchten volgde de drone een voorgeprogrammeerde route waarbij er minstens 60% overlap zijwaarts en 70% voorwaarts was tussen foto's, zodat deze met hoge nauwkeurig samengevoegd konden worden tot een orthomosaic. De RTK-technologie is gebruikt om de ruimtelijke nauwkeurigheid van de beelden te optimaliseren tot op centimeterniveau. Dit systeem, dat staat voor *Real-Time Kinematic*, maakt gebruik van satellietnavigatie en correctiesignalen om zeer precieze positionering van de drone tijdens de vluchten te garanderen. Hierdoor kunnen de beelden met hoge geografische nauwkeurigheid worden gegeorefereerd, wat essentieel is voor het nauwkeurig in kaart brengen van de kolonies en het correct tellen van individuele vogels op exact dezelfde locaties tijdens de opeenvolgende vluchten.

### 4.1.1 Aanvullende data Tijnje

Tijdens het broedseizoen van 2024 vond er in het Waddengebied, en dus ook op de vier onderzoekslocaties, geen verhoogde sterfte plaats ten gevolge van vogelgriep. Hierdoor was het niet mogelijk om voldoende trainingsdata te verzamelen om het model te trainen in het herkennen van dode vogels. Daarom zijn er, naast de hierboven beschreven data, ook dronebeelden gebruikt die op 16 juni 2023 nabij Tijnje gemaakt zijn. Dit is een Kokmeeuw kolonie in het binnenland van Friesland met 580 broedpaar in 2023. Hier werd in 2023 op 26 maart een zieke Krakeend aangetroffen en vervolgens werden er tussen 30 april en 13 mei aan de randen van de kolonie 69 dode Kokmeeuwen gevonden (med. R. Kleefstra). De kolonie zelf is niet toen betreden.

### 4.1.2 Aanvullende data Terschelling

De Fieldwork Company en Sovon Vogelonderzoek Nederland hebben in 2024 de Boschplaat van Terschelling in beeld gebracht door middel van meerdere drone vluchten. Dit is gedaan in het kader van een driejarige opdracht dat onderdeel is van het project Wij&Wadvogels, waarbij gewerkt wordt de inzet van nieuwe technieken zoals drones om de monitoring van gebieden zoals de Boschplaat te verbeteren. Hierbij gaat het dan met name om het tellen van kolonievogels als Zilvermeeuw, Kleine Mantelmeeuw, Lepelaar en Aalscholver alsmede Eider (met behulp van warmtebeeld-sensoren). Een deel van de beelden die hier in 2024 gemaakt zijn, is ook gebruikt om het ML model extra soorten te leren herkennen.

## 4.2 Model training

Na afloop van de drone-vluchten, zijn alle individuele foto's per gebied samengevoegd door middel van fotogrammetrie samengevoegd tot een orthomosaic. Omdat dergelijke bestanden te groot zijn om in een keer te kunnen worden verwerkt door een ML model, is de orthomosaic opgeknipt in delen (*tiles*) van 5 x 5 meter (afhankelijk van de resolutie ~1000 x 1000 pixels). Het uitgangspunt voor de ontwikkeling van het

Tabel 4.1. De timing van de verschillende dronenvluchten tijdens het broedseizoen 2024. Een grijs vakje betekent dat er in de betreffende periode een drone-vlucht is geweest, waarbij het getal de exacte dag van de maand weergeeft.

|                   | 1-apr | 6-apr | 11-apr | 16-apr | 21-apr | 26-apr | 1-mei | 6-mei | 11-mei | 16-mei | 21-mei | 26-mei | 1-jun | 6-jun | 11-jun | 16-jun | 21-jun | 26-jun | 1-jul | 11-jul |
|-------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Kornwerderzand    |       |       |        |        |        | 30     |       |       | 13     |        | 21     |        |       |       | 12     | 18     | 24     |        |       |        |
| Hegewiersterfjild |       |       |        |        |        | 30     |       |       | 13     |        | 21     |        | 3     |       | 12     | 18     | 24     |        |       |        |
| Klutenplas        |       |       |        |        |        |        | 1     |       | 15     |        | 23     |        | 3     |       | 11     | 19     | 25     |        |       |        |
| Eiland Stern      |       |       |        |        |        |        | 1     |       | 15     |        | 23     |        | 3     |       | 11     | 19     | 25     |        |       |        |

ML-model was het kustvogel model van Ecospace dat voor sterns en meeuwen in West-Afrika was ontwikkeld (Folmer 2024). Het model genereert detecties van vogels in de vorm van *bounding boxes* (figuur 4.2).

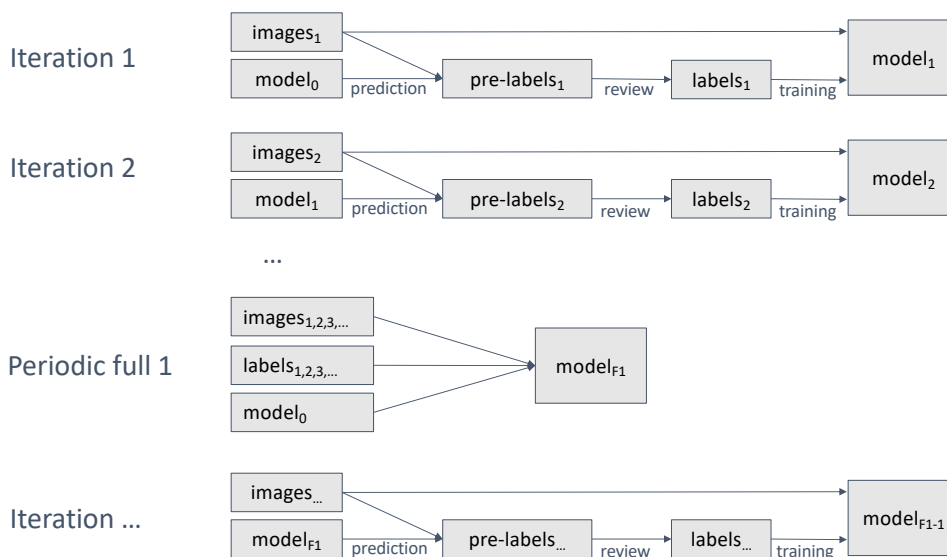
In de eerste stap is gebruik gemaakt van het oorspronkelijke model dat voor sterns en meeuwen in West-Afrika was ontwikkeld. Dit model detecteerde veel vogels correct, maar classificeerde ze verkeerd omdat het niet getraind was op de lokale soorten. Met behulp van Label Studio (beschikbaar via <https://labelstud.io>) zijn de detecties gecorrigeerd. Met deze gecorrigeerde dataset is de eerste versie van het model getraind.

Iedere volgende iteratie bestond uit de beelden van één gebied tijdens één vlucht, die na de handmatige controle gebruikt werden om het model verder te trainen. Dit verbeterde model werd vervolgens gebruikt voor de detecties van de volgende iteratie. Om het risico van bias te beperken, is periodiek een basis YOLO-model (zie verderop) opnieuw getraind op de volledige dataset van alle tot dan toe bestaande beelden en labels ("Periodic full training", figuur 4.3). Deze aanpak maakte het mogelijk om met minimale menselijke inspanning een zeer grote gelabelde dataset te creëren. In totaal zijn er tien iteraties uitgevoerd, wat resulteerde in een dataset van 24.696 gelabelde beelden.

Voor de detectie van vogels is gebruik gemaakt van het YOLO11 model (*You Only Look Once*, versie 11). YOLO wordt o.a. gebruikt voor object detectie algoritme en staat bekend om zijn snelheid en nauwkeurigheid. In tegenstelling tot traditionele methoden voorspelt YOLO in één keer *bounding boxes* en classificaties voor het gehele beeld. Dit maakt het bijzonder efficiënt. YOLO11 bouwt voort op eerdere versies met verbeterde architectuur voor hogere nauwkeurigheid, vooral bij het detecteren van kleine objecten zoals vogels in luchtfoto's.



Figuur 4.2. Voorbeeld van twee bounding boxes (paars) rondom broedende Kokmeeuwen.

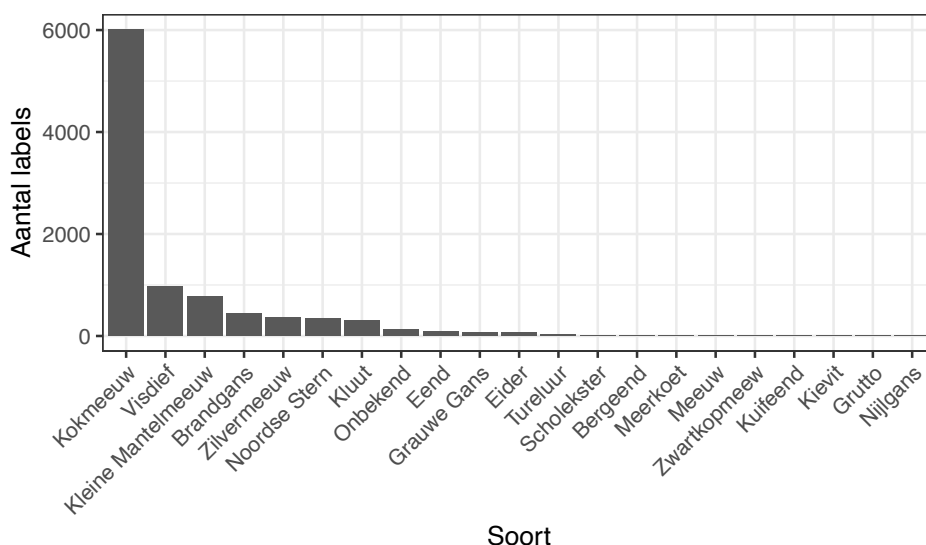


Figuur 4.3. Schematisch overzicht van het ML trainingsproces waarmee met minimale menselijke inspanning een zeer grote gelabelde dataset is gecreëerd.

Het model is getraind op een pc met NVIDIA RTX3070 GPU en een i7-11700F @ 2.50GHz processor, wat de verwerking van de grote hoeveelheid afbeeldingen en het trainen van het model binnen een redelijke tijd mogelijk maakte.

De gebruikte labels bestaan uit een combinatie van soort, leeftijd, gedrag/status en, in sommige gevallen, ook het geslacht van de vogel. Hierbij is er gebruik gemaakt van afkortingen op basis van de Engelse vogelnamen. Een dode adulte Kokmeeuw (Black-headed gull) kreeg bijvoorbeeld het label "bhg-ad-dead". Een overzicht van alle gebruikte afkortingen is te vinden in bijlage 1.

Er werden in totaal 20 vogelsoorten aangetroffen in de trainingsdata, waarvan Kokmeeuw verreweg de meest voorkomende was (figuur 4.4). Bij het gedrag/status is er onderscheid gemaakt tussen dood, broeden, vliegen, zwemmen en staan of zitten. Voor leeftijd is er gebruik gemaakt van de categorie adult en daarnaast drie klassen voor jongen: maximaal één week oud, (zo goed als) vliegvlug en als derde categorie alles wat daartussenin valt.



*Figuur 4.4. Het aantal gelabelde beelden per soort waarmee het model getraind is.*

## 5. Resultaten

### 5.1 Performance modellen

Om de prestaties en betrouwbaarheid van het YOLO-objectdetectiemodel te evalueren, zijn er vier verschillende maten gebruikt:

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP}$$

Hierbij staat *TP* voor *True Positives*, oftewel de correct geïdentificeerde vogels binnen een categorie. *FP* zijn de *False Positives*, de gevallen die onterecht als een vogel uit de betreffende categorie zijn aangemerkt. *Precision* meet daarmee dus de nauwkeurigheid van positieve voorspellingen. Het geeft aan welk deel van de positieve identificaties daadwerkelijk correct was. Een hoge *Precision* betekent dat wanneer het model een bepaalde klasse voorspelt, het zeer waarschijnlijk correct is. Bijvoorbeeld, als het model 100 objecten detecteert als Kokmeeuw en 90 daarvan zijn correct (*TP*), dan is de *Precision* 90%.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN}$$

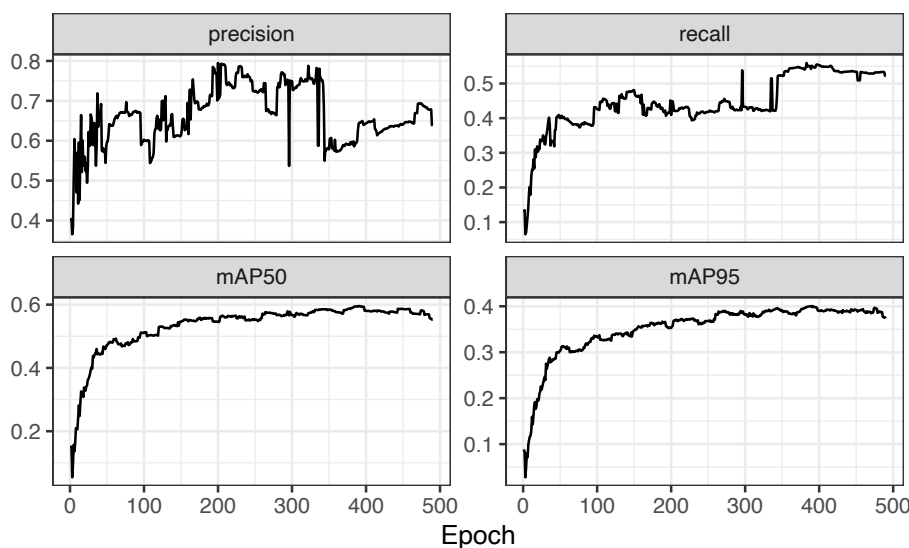
*Recall* meet het vermogen van het model om alle relevante gevallen van een klasse te vinden. *FN* staat in deze formule voor *False Negatives*, oftewel het aantal vogels in een categorie dat wel aanwezig was maar niet herkend is door het model. Een hoge *Recall* betekent dan ook dat het model de meeste werkelijke gevallen van een klasse vastlegt, waardoor het aantal *false negatives* geminimaliseerd wordt.

$$F1Score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

De *F1-score* is een maat die zowel *Precision* als *Recall* combineert in één waarde, wat zorgt voor een gebalanceerde beoordeling van de prestaties van het model. Het is vooral nuttig bij ongebalanceerde datasets of wanneer zowel *false positives* als *false negatives* belangrijk zijn. De *F1-score* varieert van 0 tot 1, waarbij hogere waarden een betere modelprestatie aangeven. In de context van objectdetectie helpt de *F1-score* bij het evalueren van het vermogen van het model om objecten correct te identificeren, terwijl het aantal *false positives* en *false negatives* geminimaliseerd wordt.

Als vierde is er gekeken naar de *mAP50* (*mean Average Precision at IoU=0.50*). Dit is een belangrijke prestatie maatstaf voor objectdetectiemodellen. Het meet hoe accuraat een model objecten detecteert over alle klassen. Het is gebaseerd op *Precision* (het deel van de juiste detecties), *Recall* (het deel van de werkelijke objecten die gedetecteerd zijn) en de *IoU*-drempel van 0,50 (een detectie wordt als correct beschouwd als de *bounding box* minstens 50% overlapt met het werkelijke object). Voor elke klasse maakt het model voorspellingen op testafbeeldingen waarop de *Precision-Recall curves* worden berekend. De *average Precision* (AP) is het gebied onder deze *Precision-Recall curve*. De *mAP50* is het gemiddelde van deze AP-waarden over alle klassen.

Figuur 5.1 toont hoe het model leert in termen van *Precision*, *Recall*, *mAP50* en *mAP95* over het aantal training cycli (*epochs*). Het model werd getraind over 500 *epochs* en het grootste deel van het leren vond plaats in de eerste 100 *epochs*, waarna het leerniveau



Figuur 5.1. Leercurves van het model op het gebied van *Precision*, *Recall*, *mAP50* en *mAP95* van epoch 0 t/m 500.

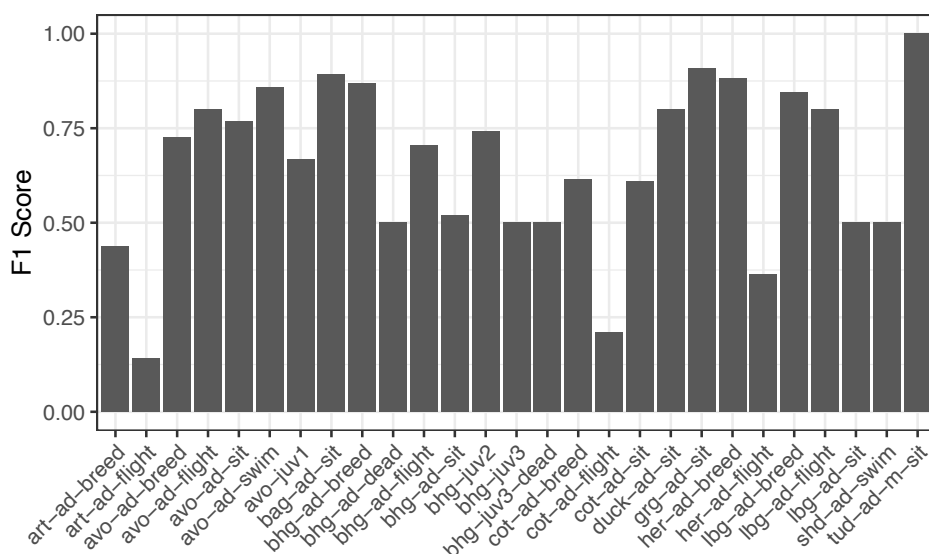
gelijk bleef. De *mAP50*- en *mAP95*-waarden liggen rond de 0,6 en 0,4 respectievelijk, en de *Precision*- en *Recall*-waarden liggen rond de 0,7 en 0,5. Het is hierbij belangrijk op te merken dat de training werd uitgevoerd op een dataset met een aanzienlijke onbalans in de hoeveelheid trainingsdata per klasse (figuur 4.3 en bijlage 2). Aangezien de *mAP50*- en *mAP95*-waarden gemiddelden zijn, zijn ze niet representatief voor individuele klassen die veel aanwezig zijn. De verwarringsmatrix en de per-klasse *Precision*, *Recall* en *F1-score* (figuur 5.2) waarden bieden meer inzicht in de prestaties van het model.

## 5.2 Soort- en gedragsherkenning

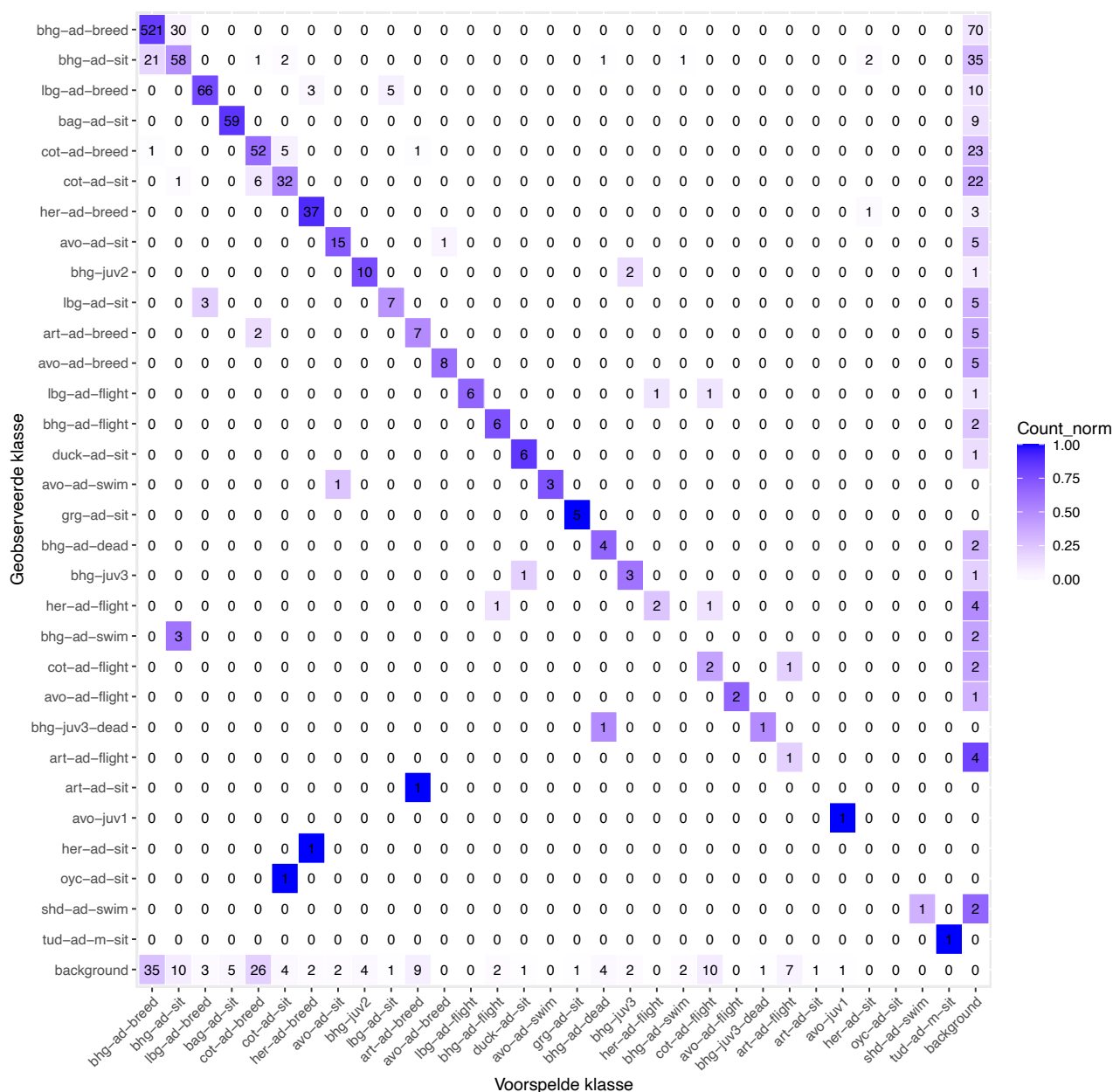
De *confusion matrix* van figuur 5.3 biedt een gedetailleerd overzicht van de prestaties van het detectiemodel over alle klassen. Rijen vertegenwoordigen de werkelijke klassen, terwijl de kolommen de door het model voorspelde klassen aangeven. Bijvoorbeeld, wanneer we naar de rij "bhg-ad-breed" kijken, kunnen we zien hoeveel werkelijke volwassen broedende Kokmeeuwen correct geïdentificeerd zijn (521), evenals hoeveel onjuist geclassificeerd zijn als andere categorieën zoals "bhg-ad-sit" (30) en "achtergrond" (70). De *Recall* voor de klasse kokmeeuw-adult-broedend (bhg-ad-breed) is 83,9%. Indien het onderscheid tussen broedend en zittend genegeerd wordt, is de *Recall* 88,7%. De *Precision* is 90,3, respectievelijk 93,9% voor het geval dat broedend en zittend niet onderscheiden worden. Elke cel in de midden diagonaal toont de juiste voorspellingen, oftewel de *true positives*. De overige cellen tonen de verwarringspatronen van het model. De categorie

"achtergrond" in de laatste rij/kolom vertegenwoordigt gevallen waarin: 1) het model een object dat aanwezig was niet heeft gedetecteerd (*false negatives*, in de onderste rij), of 2) het model een object heeft gedetecteerd waar geen object was (*false positives*, in de laatste kolom). Dit uitgebreide overzicht illustreert de sterke en zwakke punten van het model en het vermogen om te onderscheiden tussen vergelijkbare klassen, zoals verschillende vogelsoorten of hun gedragingen (zitten, vliegen, broeden).

De beperkte beschikbaarheid van data over dode vogels in 2024 vormt een uitdaging voor de modelvalidatie. Aangezien er dat jaar geen vogelgriepuitbraken waren, zijn er uitsluitend gegevens van dode kokmeeuwen uit de Tijnje-locatie beschikbaar voor analyse. Uit de confusion matrix blijkt dat het model middelmatig presteert bij het detecteren van dode adulte kokmeeuwen ("bhg-ad-dead"). In vier gevallen heeft het model deze correct geïdentificeerd (*true positives*), maar in twee gevallen werden dode adulte kokmeeuwen niet herkend (*false negatives*). Dit betekent een *recall* van 66,7% voor deze specifieke categorie, wat aangeeft dat ongeveer tweederde van de daadwerkelijk aanwezige dode kokmeeuwen door het model wordt gedetecteerd. Deze beperkte steekproefgrootte (slechts zes gevallen in totaal) maakt het moeilijk om definitieve conclusies te trekken over de betrouwbaarheid van het model voor het detecteren van dode vogels. Voor een robuustere validatie zou een grotere dataset met meer voorbeelden van dode vogels, idealiter ook van andere soorten, noodzakelijk zijn.



Figuur 5.2. *F1 score voor de verschillende klassen waarop het model getraind is. De betekenis van de verschillende labels is te vinden in bijlage X.*



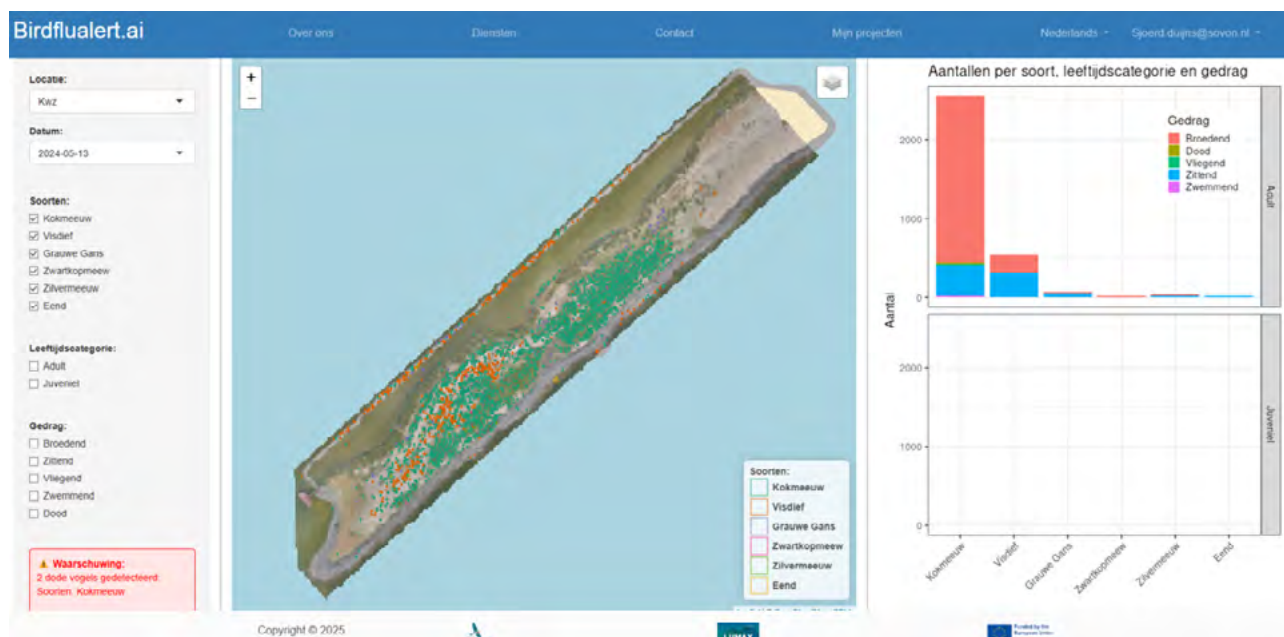
Figuur 5.3. Confusion matrix voor het model, waarbij op de horizontale as de door het model voorspelde waarde weergeeft en de verticale as de werkelijke waarde. Een toelichting bij de gebruikte afkortingen op de x- en y-as is weergegeven in bijlage 1.

### 5.3 Webapplicatie

De webapplicatie stelt gebruikers in staat om de orthomosaïc van hun dronevlucht te bekijken, inclusief alle detecties van het model. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 5.4. Aan de linkerkant kan de locatie en datum geselecteerd worden en bovendien kan er gekozen worden welke soorten, leeftijden en gedragingen weergegeven moeten worden. Indien er

dode vogels zijn aangetroffen, wordt dit door middel van een waarschuwing links onderin weergegeven.

Aan de rechterkant is een samenvatting van de data te vinden. Hierin wordt het totaal aantal individuen, gegroepeerd naar leeftijd en gedrag, weergegeven in een grafiek. Op deze manier kan er snel inzicht verkregen worden in de aantallen vogels in het betreffende gebied.



Figuur 5.4. Voorbeeld van het online portal nadat een gebruiker is ingelogd en een gebied en datum heeft geselecteerd uit de lijst met dronevluchten waar de betreffende gebruiker toegang toe heeft.

## 6. Discussie en vooruitblik

### 6.1 Doorontwikkeling van het model

Om het huidige model verder te verbeteren, met name voor het detecteren van dode vogels en zeldzamere soorten, zijn een aantal stappen wenselijk. De middelmatige prestaties bij het detecteren van dode Kokmeeuwen (*Recall* van 66,7% op basis van slechts zes testgevallen) onderstreept de noodzaak voor verbetering op dit gebied. Overigens kan de detectie van dode Kokmeeuwen wel verhoogd worden door de betrouwbaarheidsgrens te verlagen. De keerzijde hiervan is dat het aantal *false positives* zal toenemen. Maar in het geval van vogelgriep is vals alarm beter dan geen alarm. Bovendien kunnen twijfelgevallen door mensen beoordeeld worden in de webapplicatie.

Een meer fundamentele verbetering is mogelijk door het uitbreiden van de trainingsdataset met meer voorbeelden van dode vogels. Uit de *performance modellen* blijkt immers dat de klassen met veel trainingsdata goed herkend worden door het model. Aangezien vogelgriepuitbraken onvoorspelbaar zijn, is het zinvol om op korte termijn al bestaande dronebeelden uit 2022 en 2023 (verzameld door verschillende personen) van dode vogels te gebruiken bij de volgende iteraties. Ook kunnen beelden van natuurlijke sterfte buiten vogelgriepcontext worden verzameld om het model robuuster te maken. In deze context is het ook zinvol om in nationale en internationale context samenwerking en het delen van data te organiseren. Dit levert niet alleen meer trainingsdata op, maar ook meer gevarieerde trainingsdata waardoor het model breder inzetbaar kan worden.

Voor zeldzamere soorten kan een doelgerichte aanpak worden gevolgd waarbij specifieke kolonies in beeld worden gebracht waar deze soorten in hogere dichtheden voorkomen. De data van Terschelling heeft al bijgedragen aan het herkennen van soorten als Kleine Mantelmeeuw en Zilvermeeuw, maar uitbreiding naar

andere belangrijke koloniesoorten zoals Lepelaar, Aalscholver en verschillende soorten sterns blijft nodig. *Transfer learning* biedt een andere veelbelovende route, waarbij het model eerst wordt getraind op een grote dataset van algemene vogelbeelden en vervolgens wordt verfijnd met de specifieke doelsoorten. Dit kan de herkenning van zeldzamere soorten verbeteren zonder veel specifieke trainingsdata te vereisen. Verder zou een systematische analyse van verschillende architecturen tot een verbetering kunnen leiden.

Ten slotte zou het invoeren van een actief leerproces, waarbij het model zelf aangeeft bij welke beelden het onzeker is, de efficiëntie van het trainingsproces verder kunnen verhogen. Hierdoor worden menselijke experts alleen ingezet bij beelden waar het model meer moeite mee heeft, wat tijdsbesparing oplevert bij het labelen van toekomstige datasets.

### 6.2 Gebruikers

De ontwikkelde webapplicatie is gericht diverse potentiële gebruikers, waaronder terreinbeheerders en lokale overheden. De webapplicatie voorziet in een gestandaardiseerde *cloud* opslag van dronebeelden, het in de *cloud* samenvoegen van de beelden tot een orthomosaïc en eenvoudige toegang tot de resultaten van het ML model. Hiermee wordt gebruikers veel werk uit handen genomen en hoeft niet iedere partij zelf een ML model te ontwikkelen of een computer in te richten voor data processing en ML detectie.

Op 6 maart 2025 is er een online workshop gehouden voor potentiële gebruikers en andere geïnteresseerden. Hierbij is eerst aan de hand van een presentatie de aanleiding en achtergrond bij dit pilot-project toegelicht en is er uitleg gegeven over de ontwikkeling van het model en de webapplicatie. Vervolgens is de webapplicatie gedemonstreerd en konden deelnemers vragen stellen.



*Figuur 6.1. Antwoorden van deelnemers aan de workshop op de vraag wat men van de ontwikkelingen binnen het pilot project vindt.*

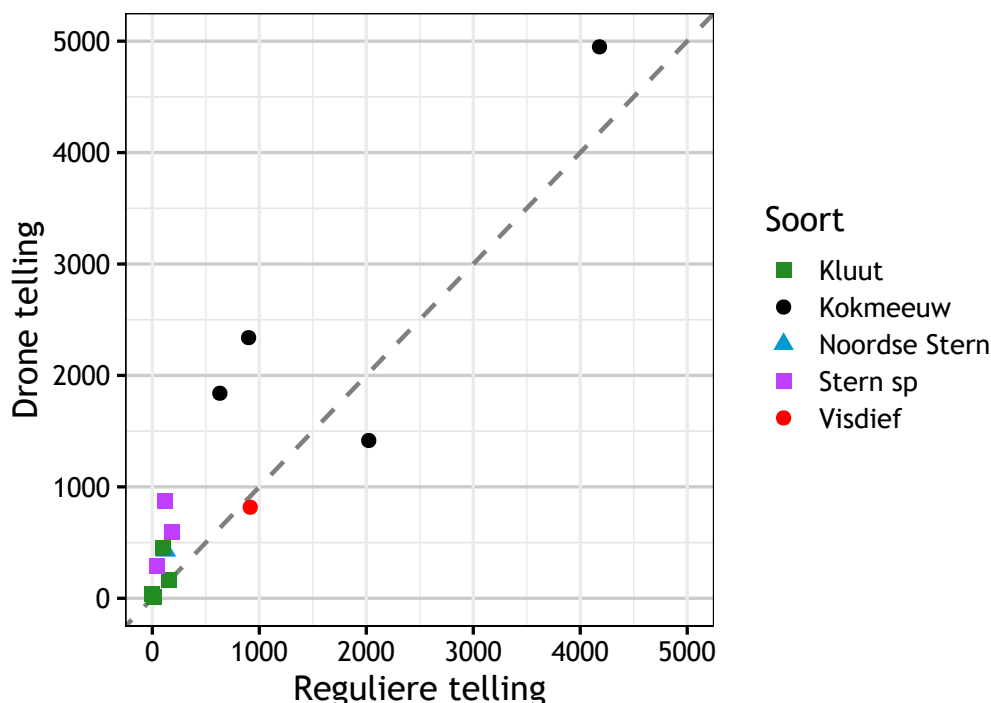
Na afloop van de workshop is nog een aantal vragen voorgelegd aan de deelnemers en feedback op dit project verkregen. Van de 13 respondenten vond niemand deze ontwikkeling onnodig en de meerderheid leek het in sommige gevallen nuttig of zelfs geweldig (figuur 6.1). Eenzelfde verdeling kwam uit de resultaten op de vraag of men de tool zelf zou gaan gebruiken om eventuele vogelgriep vast te stellen, namelijk zeven mensen die “misschien” antwoordden en vier “zeker”. Slechts één persoon zou het zelf niet gebruiken, zoals ook al bleek uit figuur 6.1. Driekwart van de respondenten zou bovendien willen betalen voor een service zoals de tool die biedt. Om dan ook zelf een drone aan te schaffen heeft voor de meeste respondenten niet de voorkeur, maar 71% gaf aan wel een partij daarvoor te willen inhuren.

### 6.3 Conclusie en vooruitblik

Binnen dit pilot project zijn er veel stappen gezet, zowel in het trainen van een ML model als in de ontwikkeling van de webapplicatie en alle processen, zoals fotogrammetrie, die op de achtergrond en in de cloud plaatsvinden. We hebben een online systeem ontwikkeld dat dronebeelden analyseert om automatisch

dode en levende vogels te detecteren, wat kan duiden op de aanwezigheid van vogelgriep. Deze resultaten worden via een interactieve web-applicatie in de cloud aan gebruikers gepresenteerd. De gebruikers kunnen eenvoudig dronebeelden van vogelkolonies uploaden voor directe analyse en visualisatie. Hierbij is de technische haalbaarheid van een dergelijke webapplicatie en bijbehorend ML model bewezen. Wel is gebleken dat de ongelijke verdeling van trainingsdata over de verschillende klassen ervoor zorgt dat niet alle klassen even goed herkend worden.

Ook is het systeem waardevol voor reguliere monitoring, zoals uit de enquête is gebleken. Potentiële gebruikers zien het nut van deze vorm van monitoring om de ontwikkeling (aantallen, overleving, kuiken productie) van broedkolonies in kaart te brengen. Er is een goed verband tussen het aantal waargenomen vogels (zittend en broedend) op de dronebeelden en de aantallen uit de reguliere kolonietellingen (Figuur 6.2). Wel liggen de maximale aantallen tijdens de dronetellingen vaak hoger, wat diverse oorzaken kan hebben. Door deze verschillen beter te onderzoeken, kan het ML in de toekomst mogelijk ook als alternatief gebruikt worden voor het tellen van moeilijk toegankelijke gebieden en sluit daarbij goed aan op parallel lopende initiatieven



Figuur 6.2. Vergelijking tussen de aantallen gedetecteerde vogels (zittend en broedend) door het ML model op drone beelden en de aantallen zoals vastgesteld tijdens reguliere BMP/kolonie tellingen. Bij de drone tellingen is uitgegaan van de datum met het hoogste aantal gedetecteerde vogels. Bij “Stern sp” zijn Visdieven en Noordse Sterns die gedetecteerd zijn op de drone beelden samengevoegd vanwege de grote gelijkheid tussen deze twee soorten.

in het kader van het Wij- en Wadvogels project, uitgevoerd door Sovon Vogelonderzoek Nederland en de Fieldwork Company.

In een volgende fase is doorontwikkeling en bredere beschikbaar making van de applicatie cruciaal, om snel te kunnen reageren bij vogelgriepuitbraken. Hieronder een aantal essentiële onderdelen die nodig zijn om de applicatie effectief te maken bij deze kritieke momenten:

- Back-end oplossingen (verbeteren en integratie dataflow, onderhoud, nieuwe functionaliteiten). De back-end infrastructuur zou geoptimaliseerd moeten worden voor efficiënte dataverwerking met verbeterde dataflow tussen verschillende componenten;
- Een beperkte groep gebruikers zou de app moeten gebruiken om gebruikerservaringen op te doen (gebruikersinteractie d.m.v. een testfase met een aantal gebruikers en feedback);
- Het toevoegen van extra trainingsdata van de nu nog ondervertegenwoordigde klassen kan het model verder verbeteren, waaronder andere soorten, maar ook dode vogels van de verschillende soorten;
- Er zouden extra soorten toegevoegd moeten worden om het model breder inzetbaar te maken. Ook de herkenningscapaciteit bij verschillende resoluties zou verbeterd kunnen worden voor gebruik met diverse drones en camera's;
- Optimalisatie van de datakwaliteit door het implementeren van protocollen voor beeldopname en -verwerking;
- Data kwaliteit en fotogrammetrie (support gebruikers);
- Het optimaliseren van de gebruikersinterface, met focus op intuïtieve bediening en visuele duidelijkheid, de zogenaamde user interface design optimalisatie.

## Literatuur

- De Boer P. 2025a. Broedvogels van de Klutenplas in 2024: aantallen en broedsucces, met speciale aandacht voor Kluut. Sovon-rapport 2025/17. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- de Boer P. 2025b. Broedvogels en broedsucces van Visdief en Noordse Stern op het broedeiland Stern in de Eems in 2024. Sovon-rapport 2025/16. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Brenninkmeijer A., Klop E. & Krijn M. 2019. Vervolg-monitoring vogelslachtoffers hoogspanningslijnen Eemshaven 2017-2018. A&W-rapport 2450. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Brisson-Curadeau É., Lacombe R., Gousy-Leblanc M., Poirier V., Jackson L., Petalas C., Miranda E., Eby A., Baak J., Léandri-Breton D.-J., Choy E., Legros J., Tranze-Drabinia E. & Elliott K.H. 2025. A meta-analysis of the impact of drones on birds. *Front Ecol Environ*, 23: e2809. <https://doi.org/10.1002/fee.2809>
- Chabot, D., S. R. Craik, and D. M. Bird. 2015. Population census of a large Common Tern colony with a small unmanned aircraft. *PLOS ONE* 10:e0122588.
- Edney, A.J., Hart, T., Jessopp, M.J., Banks, A., Vlarke, L.E., Cugnière, L., Elliot, K.H., Juarez Martinez, i., Kilcoyne, A., Murphy, M., Nager, R.G., Ratcliffe, N., Thompson, D.L., Ward, R.M. & Wood, M.J. 2023. Best practices for using drones in seabird monitoring and research. *Marine Ornithology* 51: 265–280
- European Food Safety Authority, European Centre for Disease Prevention and Control, European Union Reference Laboratory for Avian Influenza, Adlhoch C., Fusaro A., Gonzales J.L., Kuiken T., Marangon S., Mirinaviciute G., Niqueux É. & Stahl K. 2023. Avian influenza overview december 2022–march 2023. *EFSA Journal*, 21, e07917.
- Folmer E.O. 2024 A partial census of colonial breeding seabirds along the West African seaboard in 2023. *Ecospace report*
- Rijksoverheid. 2024. Leidraad omgang met wilde dieren met vogelgriep. Versie 2 (oktober 2024)
- Knief U., Bregnballe T., Alfarwi I., Ballmann M.Z., Brenninkmeijer A., Bzoma S., Chabrolle A., Dimmlich J., Engel E., Fijn R., Fischer K., Hälterlein B., Haupt M., Hennig V., Herrmann C., in 't Veld R., Kirchhoff E., Kristersson M., Kühn S., Larsson K., Larsson R., Lawton N., Leopold M., Lilipaly S., Lock L., Marty R., Matheve H., Meissner W., Morrison P., Newton S., Olofsson P., Packmor F., Pedersen K.T., Redfern C., Scarton F., Schenk F., Scher O., Serra L., Sibille A., Smith J., Smith W., Sterup J., Stienen E., Strassner V., Valle R.G., van Bemmelen R.S.A., Veen J., Vervaeke M., Weston E., Wojcieszek M., Courtens W. 2024. Highly pathogenic avian influenza causes mass mortality in Sandwich Tern *Thalasseus sandvicensis* breeding colonies across north-western Europe. *Bird Conservation International* 34, e6: 1–11.
- Lalach L.A.R., Bradley D.W., Bertram D.F., Blight L.K. 2023. Using drone imagery to obtain population data of colony-nesting seabirds to support Canada's transition to the global Key Biodiversity Areas program. *Nature Conservation* 51: 155-166.
- Mustafa, O., Esefeld, J., Grämer, H. et al. 2017. Monitoring Penguin Colonies in the Antarctic Using Remote Sensing Data. Dessau-Roßlau, Germany: Umweltbundesamt.
- Rümmeler, M.C., Mustafa, O., Maercker, J., Peter, H.U. & Esefeld, J. 2018. Sensitivity of Adélie and Gentoo penguins to various flight activities of a micro UAV. *Polar Biology* 41: 2481–2493. doi:10.1007/s00300-018-2385-3
- Rush, G.P., Clarke, L.E., Stone, M. & Wood, M.J. 2018. Can drones count gulls? Minimal disturbance and semiautomated image processing with an unmanned aerial vehicle for colony-nesting seabirds. *Ecology and Evolution* 8: 12322–12334. doi:10.1002/ece3.4495
- Valle, R.G. & F. Scarton. 2024. Do Oystercatchers hate drones? A comparison of flight initiation distances of four wader species in response to drone intrusion. *Wader Study* 131(3) 214–218.
- Vergeer J.W., Boele A., van Bruggen J. & van Turnhout C. 2023. Handleiding Sovon Broedvogelmonitoring: Broedvogel Monitoring Project en kolonievogels. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

## Bijlagen

### Bijlage 1. Betekenis van de gebruikte afkortingen voor labels binnen Label Studio

Het label “art-ad-breed” betekent bijvoorbeeld Noordse Stern, adult, broedend.

#### Afkorting soort

| Afkorting soort | Engels soort             | Nederlands soort   |
|-----------------|--------------------------|--------------------|
| art             | Arctic Tern              | Noordse Stern      |
| avo             | Avocet                   | Kluut              |
| bag             | Barnacle goose           | Brandgans          |
| bhg             | Black-headed gull        | Kokmeeuw           |
| btg             | Black-tailed godwit      | Grutto             |
| cot             | Common Tern              | Visdief            |
| duck            | Duck                     | Eend sp            |
| eco             | Eurasian coot            | Meerkoet           |
| egy             | Egyptian goose           | Nijlgans           |
| eid             | Eider                    | Eider              |
| grg             | Greylag Goose            | Grauwe gans        |
| her             | Herring Gull             | Zilvermeeuw        |
| lbg             | Lesser Black-backed Gull | Kleine Mantelmeeuw |
| lpw             | Lapwing                  | Kievit             |
| mdg             | Mediterranean Gull       | Zwartkopmeeuw      |
| oyc             | Oystercatcher            | Scholekster        |
| rsh             | Redshank                 | Tureluur           |
| shd             | Shelduck                 | Bergeend           |
| tud             | Tufted duck              | Kuifeend           |
| unk             | Unknown                  | Onbekend           |

#### Afkorting leeftijd

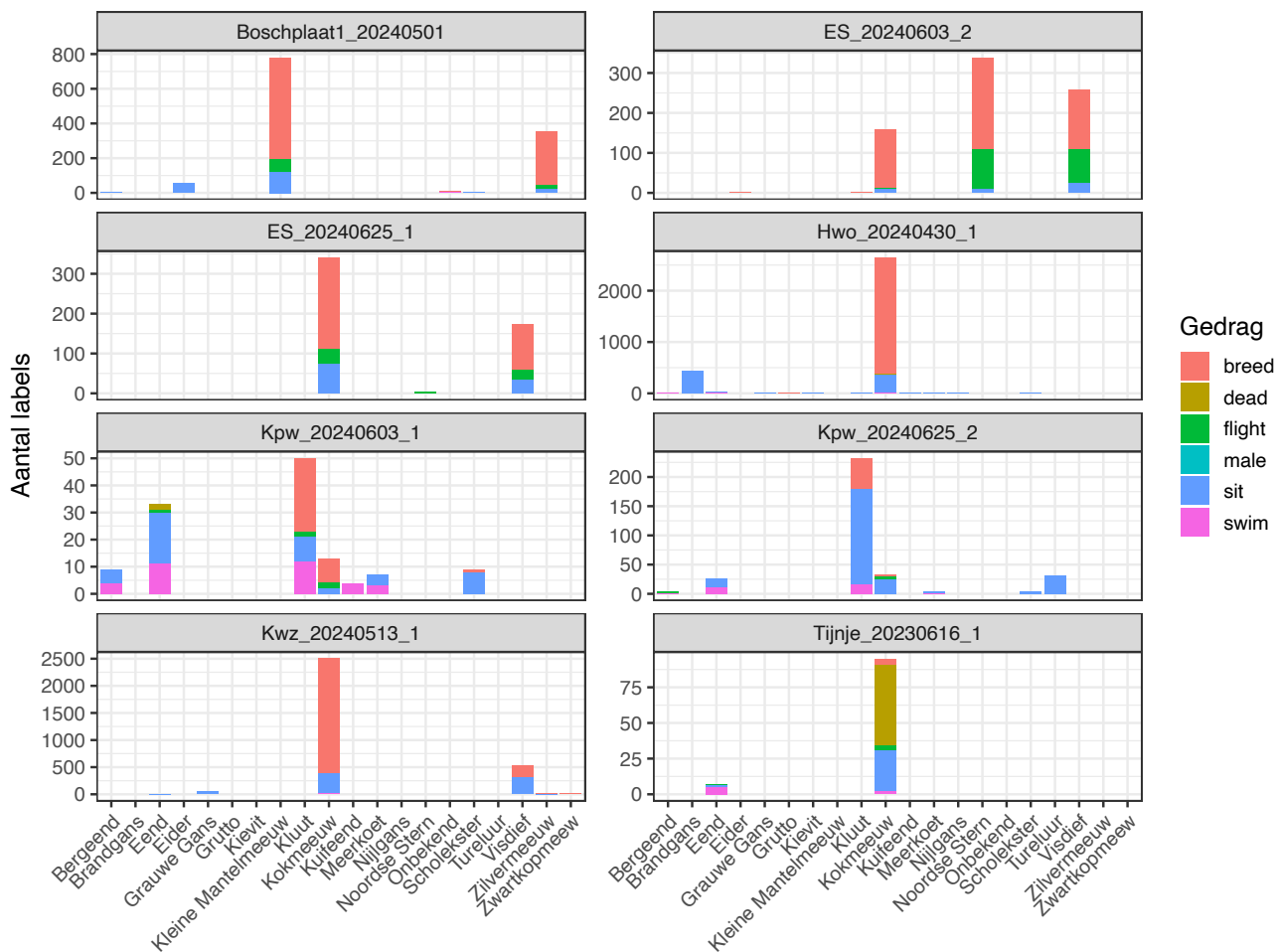
| Afkorting leeftijd | Betekenis leeftijd     |
|--------------------|------------------------|
| ad                 | adult                  |
| juv1               | jong max 1 week oud    |
| juv2               | middelgroot jong       |
| juv3               | (bijna) vliegvlug jong |
| egg                | ei                     |

#### Afkorting gedrag/status

| Afkorting gedrag/status | Betekenis gedrag/status |
|-------------------------|-------------------------|
| breed                   | Broedend                |
| sit                     | Zittend/staand          |
| flight                  | Vliegend                |
| swim                    | Zwemmend                |
| dead                    | Dood                    |

## Bijlage 2. Overzicht van het aantal labels in de trainingsdata per soort en gedrag/status

In de grijze balken staat weergegeven van welke orthomosaïc de trainingsdata afkomstig is. “Kpw\_20240603\_1” verwijst bijvoorbeeld naar Klutenplas west, 3 juni 2024, eerste vlucht.







In opdracht van:



Ministerie van Landbouw, Visserij,  
Voedselzekerheid en Natuur



Gefinancierd door  
de Europese Unie  
NextGenerationEU

Sovon Vogelonderzoek Nederland

Postbus 6521  
6503 GA Nijmegen  
Toernooiveld 1  
6525 ED Nijmegen  
T (024) 7 410 410

E [info@sovon.nl](mailto:info@sovon.nl)  
I [www.sovon.nl](http://www.sovon.nl)

